

# KUTATÁSI JELENTÉS

## "Épületszerkezetek építésökológiai és -biológiai értékelő rendszerének összeállítása az építési anyagok hazai gyártási/előállítási adatai alapján"

OTKA T/F 046265

### Tartalom

0)	Kutatás egyoldalas összegzése	2
A) tanulmány összegzése:	Irodalmi összefoglaló	3
B) tanulmány összegzése:	Javasolt értékelő rendszer	4
C) tanulmány összegzése:	Építőanyagok és energiahordozók magyar adatbázisa	6
D) tanulmány összegzése:	Opaque (nem áteresztő, tömör) épületszerkezetek elemzése	8
E) tanulmány összegzése:	Az ablakok és árnyékoló szerkezetek elemzése	14
F) tanulmány összegzése:	Épület léptékben értelmezhető indikátorok elemzése	18

Készült a



Független Ökológiai Központban

[www.foek.hu](http://www.foek.hu)

2004-2006

# Kutatás egyoldalas összegzése

---

<b>Készült:</b>	A Független Ökológiai Központ Alapítványban Budapest, 1035 Miklós tér 1. - www.foek.hu 2004-2006.
<b>Készítették:</b>	<u>Kutatásvezető:</u> Dr. Tiderenczl Gábor <u>Kutatók:</u> Medgyasszay Péter, Szalay Zsuzsa, Zorkóczy Zoltán
<b>Kutatás címe:</b>	"Épületszerkezetek építésökológiai és -biológiai értékelő rendszerének összeállítása az építési anyagok hazai gyártási/előállítási adatai alapján"

---

A kutatás széles körben elemezte a nemzetközi és hazai építésökológia, építésbiológiai és életciklus elemző módszereket. 8 értékelési módszert, 13 komplex értékelő rendszert, 23 lényegesebb szakirodalmi forrást elemzett, és a korábban e témában végzett kutatások alapján saját értékelő rendszert definiált.

A saját értékelő rendszer az épületszerkezetek szintjén 3+8 indikátort alkalmaz, és az elemzés eredményeit kördiagramokon ábrázolja. A kördiagramos ábrázolás több szempont egy ábrán történő bemutatását úgy oldja meg, hogy minden indikátor teljesítményét százalékosan mutatja, az elemzések során előfordult legmagasabb értékek százalékában.

A kutatás az indikátorok értékeit a leginkább elterjedt és legalaposabban kidolgozott svájci Ecoinvent adatbázis alapján határozta meg 112 építőipari termékre illetve eljárásra vonatkoztatva. Az adatok hazai adaptálása során figyelembe vettük a magyar energiahordozó struktúrát, valamint egyes termékek jellemző szállítási távolságát. A kutatás az eredeti terveitől eltérően a hazai gyártók telephelyi környezetterhelését csak korlátozott számban tudta felmérni a gyártók érdektelensége miatt.

Az épületszerkezetek elemzése során a beépítéskor jelentkező abszolút értékben vett környezetterhelés – továbbiakban "beruházás" – mellett figyelembe vettük az építőanyagok életciklusra leosztott relatív környezetterhelését is – továbbiakban "anyag" állapot –, és ugyanebben a relatív léptékben vizsgáltuk a használat során jelentkező környezetterhelést is – továbbiakban "használat". A használati élettartam a svájci SIA adatai alapján az anyagok szerkezeten belüli elhelyezkedése és minősége szerint került meghatározásra. A szerkezetelemzés során 5 építési rendszer 29 szerkezetét elemeztük.

A kutatás komplexitása érdekében az épülethatároló szerkezetek hőtárolótömeg-hatásának felülvizsgálatát is elvégeztük dinamikus épületenergetikai szimulációval. Elvégeztük a téli, nyári hőegyensúlyi vizsgálatokat valamint értékeltük a hőérzeti hatásokat. Ezek alapján behatároltuk a potenciálisan gépi hűtést igénylő szerkezet kombinációkat. Majd a részletes vizsgálat végeztével kifejeztük a potenciális hűtéssel járó környezeti terhelések mértékét.

## A kutatás legfontosabb eredményei, újdonságai:

- 1) A kutatás jól használható adatbázist állított össze a Magyarországon használt építési anyagok teljes életciklus alatti környezetterhelésének bemutatására.
- 2) A kutatás megerősítette, hogy az energiahasználat, a klímaváltozás és az ózonréteg károsítása szempontjából elsődleges a használati életfázisban jelentkező környezetterhelés csökkentése.
- 3) A kutatás kimutatta, hogy a savasodás szempontjából egynémely, míg a szmogképződés, az eutrofizáció, a humán- és az ökotoxicitás szempontjából minden épületszerkezetnél a gyártás környezetterhelése a legjelentősebb.
- 4) A kutatás épületek dinamikus szimulációja segítségével elmélyítette az épületek hőkomfortjára vonatkozó ismereteket. A gyakorlati tervezés számára hasznosítható ajánlásokat fogalmazott meg, ami a klímaváltozáshoz való adaptáció szempontjából rendkívül aktuális, és fontos az energiaigényes gépi hűtés elkerülése érdekében.

## 1. A kutatási jelentés A) tanulmányának rövid összefoglalója

Áttekintettük a nemzetközi és hazai, építésökológiával és építésbiológiával foglalkozó irodalmi forrásokat. Elemeztük az elérhető értékelési módszereket, értékelési rendszereket, adatbázisokat és szoftveket, valamint az átfogó szakirodalmi forrásokat (8 értékelési módszer, 13 komplex értékelő rendszer, 23 lényegesebb szakirodalmi forrás).

Míg Magyarországon nagyon kevés értékelhető forrást találtunk, külföldön a vártnál sokkal gazdagabb a szakirodalom. A kutatási terület Nyugat-Európában és Amerikában aktuális témának számít. Az áttekintett források közül a kutatás további szakaszaiban a következő módszereket és adatbázisokat tartjuk használatra érdemesnek.

### Az életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment) szabványosított módszere

A termékek környezeti szempontú értékelési módszerei közül a legelfogadottabb, tudományosan is leginkább elismert az életciklus-elemzés. Az életciklus-elemzés meghatározza a vizsgált folyamat minden be- és kimenetét (nyersanyag- és energiafelhasználás, emissziók, hulladékok), majd a vizsgált funkcionális egységre, például 1 kg építőanyagra, vagy 1 m<sup>2</sup> falszerkezetre vonatkoztatja. Az elemzés lényege, hogy a termék teljes élettartamát és minden hatást figyelembe veszi a “bölcsőtől a sírig”, ezzel kiküszöböli a problémák áthárítását az egyik életszakaszból, földrajzi helyről vagy környezeti közegből a másikba. Az alapelveket és módszertant az ISO 14040-43 nemzetközi szabványsorozat rögzíti. Az elemzés részei: a cél és tárgykör meghatározása; leltárkészítés a termékkel kapcsolatos folyamatok bemeneteiről és kimeneteiről; a potenciális környezeti hatások kiértékelése; a leltárelemzés és a hatásértékelés eredményeinek értékelése a tanulmány céljának megfelelően.

### A CML-hatáskategóriák

Az életciklus-elemzésre vonatkozó szabványok a hatásértékeléshez a leideni egyetem által kifejlesztett CML-módszert javasolják. A CML-módszer hatás-orientált osztályozást jelent, azaz a termékhez kötődő emissziókat és egyéb környezeti hatásokat hatáskategóriákba vagy környezeti problémákhoz sorolja. A kategóriák kiválasztása probléma-orientált megközelítéssel történik, amely a károk (az ok-okozati lánc végpontja) helyett a környezeti problémákra (az ok-okozati lánc középső pontja) fókuszál. A legtöbbet használt hatáskategóriák a globális klímaváltozás, a savasodás, az eutrofizáció, a sztratoszferikus ózonréteg károsodása, a foto-oxidánsok képződése, a humántoxicitás és az ökotoxicitás.

### Az eco-indicator 99 módszer

A hatásértékelés másik elfogadott módszere. A CML- módszerhez képest a legfontosabb különbség, hogy az eco-indicator kár-orientált megközelítésre épül. Három területet vizsgálnak: az emberi egészség károsodását, az ökoszisztéma minőségének romlását és az erőforrások kimerülését. Az emberi egészséget érintő károsodások például a nem egészségesen eltöltött életevek (Disability Adjusted Life Years- DALY) számával jellemzik. Az ökoszisztéma minőségének romlását az egy bizonyos környezeti terhelés hatására adott területen kipusztult fajok aránya írja le. Az erőforrások kimerülését pedig az egy kilogramm kitermelt anyagra jutó „többlet energiában” mérik, amely abból származik, hogy a megmaradó erőforrást a jövőben csak egyre nagyobb energiabevitel árán lehet majd kitermelni. Az eredményeket a három területnek megfelelően könnyen értelmezhető és felhasználóbarát, de tudományosan alátámasztott ökopontokkal összegzik.

### Az ecoinvent adatbázis

Az adatbázis az energiaellátás, kemikáliák, mezőgazdasági termékek és hulladékkezelés mellett nagyon sok építőanyag gyártási környezetterhelési adatait is tartalmazza. Az adatok forrása elsősorban a svájci és német ipar. Az adatsorok mindig a funkcionális egységre vonatkoznak. Az adatok nagy része tartalmazza az adott modulhoz szükséges infrastruktúra létesítésének emisszióit is (pl. erőművek, utak építése, stb.). A leltárelemzés eredményei mellett minden adatsorhoz letölthetőek a hatásértékelés eredményei is. Az ecoinvent jelenleg Európában a legmegbízhatóbb és legrészletesebb adatbázis. Az adatbázis módszertanilag egységes, az adatminőség általában jó.

## 2. A kutatási jelentés B) tanulmányának rövid összefoglalója

Az értékelő rendszer célja az épületszerkezetek környezetre és az emberi egészségre gyakorolt hatását bemutató szempontrendszer felállítása volt.

Az értékelő módszer az épületszerkezetek teljes életciklusára koncentrált, azaz figyelembe veszi az építőanyagok gyártását, beépítését, az épület használatát, üzemeltetését, a karbantartási igényeket, valamint a bontást, hulladékkezelést. Az épületszerkezetek szintjén az üzemeltetés csak a fűtési energiaigényre korlátozódik.

Az alkalmazott értékelő rendszer indikátorai a következők:

- **Kumulatív energiaigény, nem megújuló (akkor legyen itt is PEI, n.r.):** A teljes, primer energiában kifejezett nem megújuló energiafelhasználás. Ide tartozik a fosszilis tüzelőanyagok és az atomenergia felhasználása.
- **Klímaváltozás (GWP):** Az emberi tevékenységből származó különböző gázok felerősítik a természetes üvegházhatást. A hőmérséklet emelkedésének lehetséges következményei a globális éghajlatváltozás, a csapadékeloszlás és a vegetációs zónák eltolódása, valamint a jégolvadás miatt a tengerszint emelkedése. Az antropogén üvegházhatásért felelős ún. üvegházgázok közül legfontosabbak a szén-dioxid ( $\text{CO}_2$ ), a metán ( $\text{CH}_4$ ) és a fluor-klór-szénhidrogének (FCKW). A különböző gázok által okozott hatást az ún. globális felmelegedési potenciállal (Global Warming Potential, GWP), avagy üvegház-potenciállal fejezzük ki. Az üvegház gázok hatását a széndioxidhoz viszonyítjuk.
- **Savasodás (AP):** A „savas esőért” elsősorban a kéndioxid ( $\text{SO}_2$ ) és a nitrogénoxidok ( $\text{NO}_x$ ) okolhatók. Ezek az anyagok elsősorban égési folyamatokból származnak, melyekért főként az ipar, a hőerőművek, a háztartások és a közlekedés a felelős. Ezekből a gázokból oxidáció útján a légkörben kénes savak, kénsav, illetve nitrogénsav keletkeznek, amelyek a csapadék pH-értékét csökkentik. A lehetséges következmények például az erdőpusztulás, a talaj savanyodása és az épületek károsodása. A különböző emissziók hatását a  $\text{SO}_2$  bázison kifejezett savasodási potenciállal (Acidification Potential, AP) jellemezzük.
- **Sztratoszferikus ózonréteg károsodása (ODP):** Az utóbbi években a földi élet számára veszélyes ultraibolya sugárzás nagy részét kiszűrő sztratoszferikus ózonréteg globálisan is vékonyodik. Az ózon bomlásáért elsősorban a fluor-klór-szénhidrogének okolhatók (FCKW). Ezeket az anyagokat többek között hűtőszekrényekben és klímaberendezésekben használják, hajtógázként történő alkalmazásuk (spray, habosítás) egyre inkább visszaszorulóban van. Ugyanakkor más nyomgázok, például a halonok is hozzájárulnak az ózon bontásához. Az ultraibolya sugárzás földfelszíni erősödése károsíthatja az emberek és állatok egészségét, a földi és vízi ökoszisztémákat, a biokémiai körforgást és az anyagokat. Olyan megbetegedéseket okoz, mint a bőrrák és a szürke hályog. Az anyagok ózonkárosító potenciálját (Ozone Depletion Potential, ODP) a triklór-fluor-metánéhoz viszonyítjuk.
- **Eutrofizáció (EP):** Az eutrofizációt a makro-tápanyag, elsősorban a nitrogén (N) és a foszfor (P) magas koncentrációja okozza. A tápanyag feldúsulás a fajok összetételének nem kívánatos megváltozásához és megnövekedett biomassza termelődéshez vezethet a vízi és a szárazföldi ökoszisztémákban. A magas tápanyag koncentráció mellett a víz ihatóságát is veszélyezteti. A vízi ökoszisztémákban a megnövekedett biomassza képződés (alga-növekedés) oxigénszint csökkenést és ezáltal halpusztulást okozhat. Az anyagok eutrofizációs potenciálját (Eutrophication Potential, EP) a foszfáthoz viszonyítjuk.
- **Fotokémiai oxidáció-nyári szmog (POCP):** A fotooxidánsok ultraibolya fény hatására a troposzférában képződnek, illékony szerves vegyületek (VOC) és szénmonoxid (CO) fotokémiai oxidációja során nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_x$ ) jelenlétében. A legfontosabb fotooxidáns az ózon és a peroxiacetilnitrát (PAN). Ezek a kémiai vegyületek károsíthatják az emberi egészséget, az

ökoszisztámát, vagy akár a szántóföldi növénykultúrákat. Az anyagok fotokémiai oxidációs potenciálját (Photo-oxidant formation, POCP) az etilénhez viszonyítjuk.

- **Humántoxicitás (HTP):** Ez a hatáskategória a környezetben jelen lévő toxikus anyagok az emberi egészségre gyakorolt hatását jellemzi. A toxicitás kategóriák karakterizációs modellje fejlesztés alatt áll, tudományosan vitatott. Az anyagok humántoxicitás potenciáljának (Human-Toxicity Potential, HTP) viszonyítási alapja az 1,4-diklór-benzol.
- **Ökotoxicitás (ETP):** A különböző toxikus anyagok közvetlenül károsíthatják, mérgezik a vízi, szárazföldi és üledéki ökoszisztémákat. A toxicitás kategóriák karakterizációs modellje fejlesztés alatt áll, tudományosan vitatott. Az anyagok ökotoxicitás potenciáljának (Ecotoxicity Potential, ETP) viszonyítási alapja az 1,4-diklór-benzol. Megkülönböztetjük az édesvízi (FAETP), tengeri (MAETP), szárazföldi (TAETP), édesvízi üledék (FSETP) és tengeri üledék (MSETP) ökoszisztémákra gyakorolt hatást.
- **eco-indicator 99:** Az eco-indicator 99 a fenti probléma-orientált kategóriákkal szemben kár-orientált módszer. A három figyelembe vett terület az emberi egészség károsodása, az ökoszisztéma minőségének romlása és az erőforrások kimerülése. A károsodásokat ökopontokkal fejezik ki. Az eco-indicator a vizsgált termék hatását a három területen egy-egy számmal fejezi ki, tehát az eddigi kategóriáktól függetlenül, önmagában is értelmezhető és teljes képet ad.

Az emberi egészséget és komfortot az **épület szintjén** jellemző indikátorok:

- **hőérzet (PMV):** a PMV-érték az emberek várható hőérzetét jellemzi, amely nagyban függ az alkalmazott szerkezetektől. A PMV értékről:  $\pm 0,5$  értéknél az emberek 10%-a;  $\pm 1,08$ -nél 30%-a;  $\pm 1,44$  -nél 50%-a, míg  $\pm 2,00$  PMV-nél 80%-a érzi magát kellemetlenül.
- **természetes megvilágítás:** Az épület árnyékolása és ablakmérete által jelentősen befolyásolt tényező. A helyiségekben a tevékenységek egészséges végzéséhez fontos alaptényező a kellő megvilágítás, ezért érdekes a vizsgálata.. Ezenfelül fontos a mesterséges megvilágítás visszaszorítása érdekében.

Egyéb indikátorok:

Az épületszerkezeteknek hatása van az épület akusztikai minőségére, az épület levegőjének kémiai és biológiai összetételére és az épület elektroklímájára, azaz a komfortérzetére és az emberi egészségére. Ezek a hatások az épület használati szakaszában lépnek fel és az építésbiológia témaköréhez kapcsolódnak. A hatások számszerűsítésére több indikátort is javasoltunk, de ezek az értékelő rendszerben végül adathiány és modellezési nehézségek miatt nem szerepelnek (kivéve a hőérzetet-PMV és a természetes megvilágítást).

### 3. A kutatási jelentés C) tanulmányának rövid összefoglalója

Az épületszerkezetek teljes életciklusához hozzátartozik az építőanyagok gyártása. A kutatás céljai között szerepelt egy hazai gyártási adatokon alapuló, az építőanyagok környezetterhelését kvantitatív módon jellemző adatbázis létrehozása. Ennek érdekében kérdőívet dolgoztunk ki, amely viszonylag egyszerű, de kiter a legfontosabb jellemzőkre (a gyárra vonatkozó általános adatok, a gyártás bemenetei a vizsgált termékre vonatkozóan, a gyártás kimenetei a vizsgált termékre vonatkozóan, a szállítással kapcsolatos adatok). A kérdőívet 20 magyar építőanyag gyártó céghez juttattuk el, a visszajelzési ráta azonban igen csekély volt. Ezek után az irodalmi kutatások alapján legmegfelelőbbnek látszó svájci ecoinvent adatbázis megvásárlása és Magyarországra való adaptálása mellett döntöttünk.

#### Az ecoinvent adatbázis adaptálása

A jellemzően importból érkező termékek esetén átlagos európai modulokat használtunk, a Magyarországon gyártott termékek esetén azonban a következő szempontok szerint módosítottuk az adatbázist:

- A svájci elektromos árammix összetétele lényegesen különbözik a hazaitól. A svájci árammixben domináns a vízi- és az atomenergia, míg Magyarországon a fosszilis tüzelőanyagokkal működtetett erőművek és az atomenergia a legfontosabbak. Környezeti hatások szempontjából ennek megfelelően a svájci értékek jóval alacsonyabbak a magyar értékeknél. A svájci árammixet a modulokban magyarra cseréltük.
- A magyar földgáz primer energiatartalma az európaihoz viszonyítva ~10%-al magasabb, mivel Magyarországra a földgáz nagyobb távolságról érkezik. Ezeket a modulokat is kicseréltük.
- A svájci és az átlagos európai szállítási terhelések között kis különbség mutatkozott, itt az európai modulokat használtuk.

#### A magyar adatbázis

Az ecoinvent modulokat saját modulokkal egészítettük ki. Az Ytong pórusbeton falazóblokk esetén rendelkezésre álltak részletes, magyar gyárfelmérés alapján gyűjtött adatok, ami lehetőséget adott a svájci és a magyar termelés összehasonlítására.

A magyar építőanyag adatbázisban az anyagra jellemző értékek összevonva szerepelnek:

- az építőanyag gyártási környezetterhelése;
- az építőanyag a gyártól a felhasználás/építés helyszínére való szállításának környezetterhelése: az építőanyagokat pontos statisztikák hiányában négy kategóriára osztottuk;
- az élettartam végén keletkező hulladék kezelésének környezetterhelése: a jelenlegi helyzetből kiindulva egy valószínű hulladékkezelési scénáriót feltételeztünk.

Az anyag beépítésétől függő, a használat-üzemeltetés alatt a környezetre gyakorolt hatást a szerkezetek és az épület szintjén vesszük figyelembe.

A tanulmány tartalmazza a modulok rövid leírását is. Minden építőanyag esetén megadtuk a modulban figyelembe vett gyártási lépéseket, a fő bemeneteket és környezeti hatásokat, valamint az adatok minőségét és az alapfeltételezéseket. Azt is közöltük, hogy a modult adaptáltuk-e a magyar viszonyoknak megfelelően, és ha igen, mit változtattunk.

Az adatbázis a következő anyagcsoportokat tartalmazza:

- kövek, feltöltések
- habarcsok, helyszíni és száraz vakolatok
- beton
- falazóelemek,
- kerámiatermékek

- fedések,
- üvegek,
- hőszigetelések,
- fatermékek, faalapú lemezek, favédőszerek
- fémek, és felület kezelésük
- műanyag késztermékek,
- festékek.

Az adatbázis az építőanyagokon kívül az energiahordozók környezetterhelését is tartalmazza. Külön modult dolgoztunk ki az 1 MJ nettó fűtési energiaigény által okozott környezetterhelésre (egy átlagos családi házat feltételezve, a veszteségek figyelembe vételével).

#### **Az adatbázis továbbfejlesztésének lehetséges iránya**

Az adatbázis adatminősége jónak mondható. Az adatbázis továbbfejlesztési irányai a következők lehetnek:

- Hazai, reprezentatív gyárfelméréseken alapuló adatok gyűjtése. Ez fontos lehet, hiszen elképzelhető, hogy vannak technológiai különbségek a hazai és svájci gyártás között. A villamos energia viszonylagos olcsósága miatt például Svájcban valószínű nagyobb arányban alkalmaznak elektromos fűtésű kemencét. Az alapanyagok, nyersanyagok beszállítása más távolságról, esetleg más szállítóeszközzel történhet.
- Az átlagos szállítási távolságok, az export és import mennyiségének alátámasztása pontosabb statisztikákkal.
- Más hulladékkezelés scenáriók vizsgálata, alternatívák készítése.
- Az adatok bizonytalanságának elemzése.

## 4. A kutatási jelentés D) tanulmányának rövid összefoglalója

### A kutatási rész eredményeinek összegzése

A kutatás során azonos funkciójú épületszerkezetek között jelentős környezetterhelés különbséget mutattunk ki. Kimutattuk, hogy az energiahasználat, a klímaváltozás és az ózonréteg károsítása szempontjából első sorban a használati életciklus a domináns. A savasodás szempontjából egyes épületszerkezeteknél, a szmogképződés, az eutrofizáció, a humán- és az ökotoxicitás szempontjából azonban minden szerkezet esetén a gyártási életfázis domináns.

### A kutatás módszertana

A kutatás során a következő épületszerkezeteket definiáltuk:

- Külső falak:
  - Réteges, favázis könnyűszerkezetes falszerkezet (FaKF)
  - Réteges, fémvázis könnyűszerkezetes falszerkezet (FemKF)
  - Homogén, tartóváz nélküli pórusbeton falszerkezet (Pb30F)
  - Homogén, tartóváz nélküli vázkerámia falszerkezet (Vk38F)
  - Homogén, tartóváz nélküli vázkerámia falszerkezet (HS38F)
  - Réteges, tartóváz nélküli kerámia falszerkezet 8 cm hőszigeteléssel (B30+8F)
  - Réteges, tartóváz nélküli kerámia falszerkezet 14 cm hőszigeteléssel (B30+14F)
  - Réteges, favázis vályog kitöltésű, szalmabála hőszigetelésű falszerkezet (V35F)
  - Réteges, polisztirol zsaluzat közé öntött beton falszerkezet (PSBF)
- Padlók:
  - Hideg burkolatú, nagy hőtároló képességű talajon fekvő padló (HNhP)
  - Meleg burkolatú, közepes hőtároló képességű talajon fekvő padló (MKöhp)
  - Meleg burkolatú, kis hőtároló képességű talajon fekvő szárazpadló (MKihP)
- Födémek:
  - Járható, fa padlásfödém (FHhF)
  - Kerámia béléstestű padlásfödém (KBF)
  - Előregyártott betongerendás, béléstestű padlásfödém (EGF)
  - Monolit vasbeton padlásfödém (MVbF)
  - Járható, fa padlásfödém újrahasznosított anyagból készülő hőszigeteléssel (FHuF)
  - Pórusbeton béléstestű födém (PbF)

Az ablakszerkezeteket az E) tanulmányrészben definiáltuk és elemeztük, mivel a használati élettartam alatt a hőnyereségek és hővesztések kezelése speciális megközelítést igényelt.

Minden épületszerkezetet úgy definiáltunk, hogy a szerkezeti rétegek általános épületszerkezeti megnevezése mellett külön sorokban szerepeltettük az adott szerkezeti réteg létrehozásához szükséges segédanyagokat is (például téglafal két sorban szerepel, téglá és habarcs megnevezésekkel.)

A szerkezetek egy négyzetméterre vetített felületi tömegét a sűrűség és vastagság alapján automatikusan generáltuk, majd szükség esetén kézi módszerrel korrigáltuk. Erre a korrekcióra azért volt szükség, mert egyes szerkezeti anyagok (pl. faváz) a szerkezeti rétegben hézagosan helyezkedtek el, illetve



egyes anyagok (pl. favédő szerek) tömegét nem lehetett automatizálni. A szerkezetekben felhasznált építési anyagok mennyiségét a KING költségvetés készítő program tétel és munkanorma adatai alapján számítottuk.

A szerkezet hőátbocsátási értékének számításakor a felületi hőhidak arányát a hővezetési tényezők arányosításával vettük figyelembe.

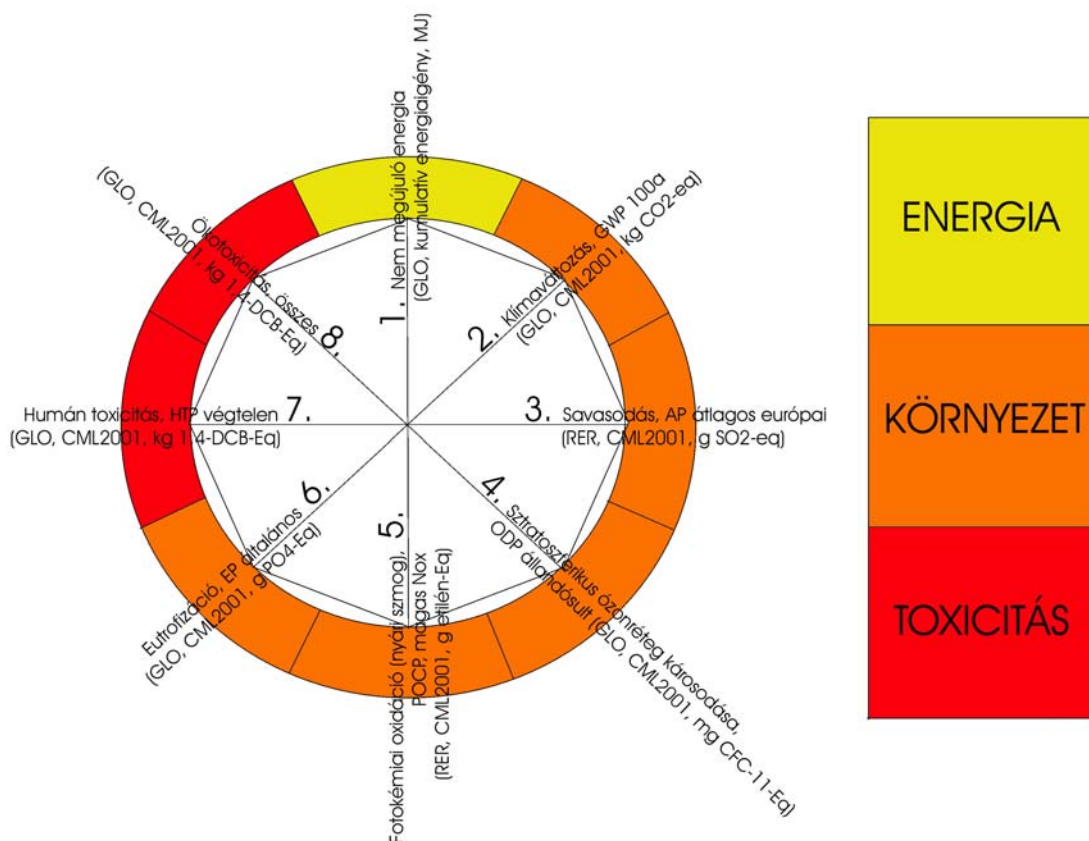
Az alapadatokat tartalmazó táblázatot mintaként egy falszerkezetre vonatkoztatva a 4–1. táblázatban mutatjuk be.

A C) tanulmányrészben bemutatott, magyar energia és szállítási viszonyok szerint módosított egységni tömegre vonatkozó adatokat hozzárendeltük a vizsgált épületszerkezetek egy-egy szerkezeti rétegéhez (4–2. táblázat).

A szerkezetekre vonatkozó alapadatok és az ökológiai adatok szorzataként egy-egy szerkezetről összefoglaló táblázatokat állítottunk össze (4–3. táblázat). A táblázatban a "beruházási környezetterhelés" z a beépítéshez kapcsolódó abszolút, míg az "életciklusra vetített" érték az élettartam alapján egy évre jutó relatív környezetterhelést mutatja.

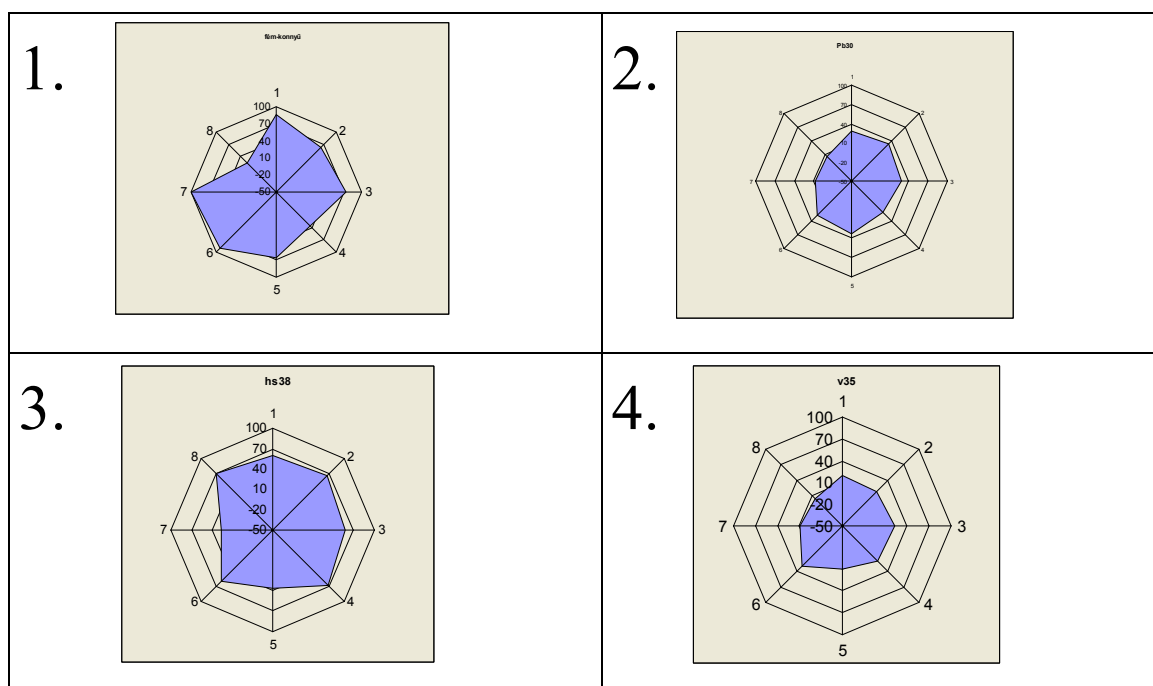
A szerkezetekre vonatkozó adatokat a jobb összehasonlítás és bemutatathatóság szempontjából kördiagramokon értékeltük. A kördiagramok energiahasználatra, környezet-károsításra és toxicitásra vonatkozó indikátorokat tartalmaztak. A kördiagramokban ábrázolt indikátorokat és az indikátorok jellegét a 4–1. ábra szemlélteti.

**4–1. ábra Indikátorok eloszlása és besorolása a kördiagramokban**

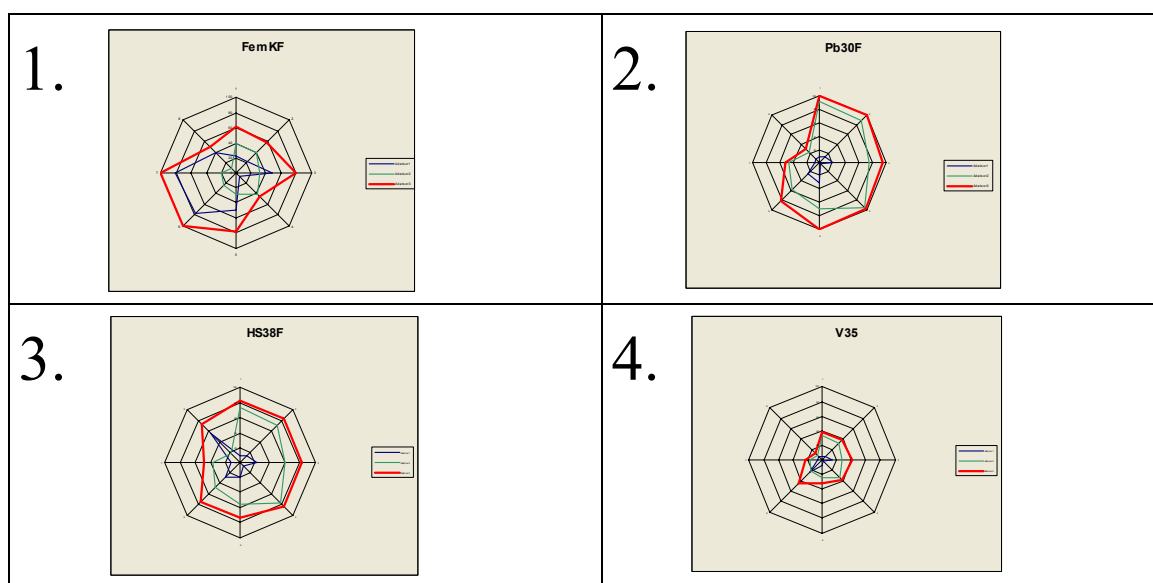


A beruházásra jellemző környezetterhelési diagramok között szemmel látható különbségek vannak (4—2. ábra), amelyeket azonban csak teljes életciklusra vetítve, és a használati életfázissal együtt szabad értelmezni (4—3. ábra). A használati életfázisra vonatkozó környezetterhelést 72.000 órafok figyelembe vételével, egy négyzetméter felület hőveszteségéből számított bruttó fűtési energiaigény (mely a gépészeti rendszer veszteségeit is tartalmazza) alapján vettük számításba.

**4—2. ábra Egyes falszerkezetek beruházási környezetterhelését bemutató kördiagramok** (1. Réteges, fémvázaz könnyűszerkezetes falszerkezet (FemKF); 2. Homogén, tartóváz nélküli pórusbeton falszerkezet (Pb30F); 3. Homogén, tartóváz nélküli vázkerámia falszerkezet (Vk38F); 4. Réteges, favázaz vályog kitöltésű, szalmabála hőszigetelésű falszerkezet (V35F))



**4—3. ábra Egyes falszerkezetek teljes életciklus alatti környezetterhelését bemutató kördiagramok** (1. Réteges, fémvázaz könnyűszerkezetes falszerkezet (FemKF); 2. Homogén, tartóváz nélküli pórusbeton falszerkezet (Pb30F); 3. Homogén, tartóváz nélküli vázkerámia falszerkezet (Vk38F); 4. Réteges, favázaz vályog kitöltésű, szalmabála hőszigetelésű falszerkezet (V35F))



4-1. táblázat Réteges, favázás könnyűszerkezetes falszerkezet (FaKF) alapadatainak bemutatása

		vastag- ság (cm)	Sűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	ajánlott tömeg (kg/m <sup>2</sup> )	számításba vett tömeg (kg/m <sup>2</sup> )	élettartam (év)	megjegyzés	felület- arány	lambda (W/mK)
akril diszperziós festék	193		1700	0	0,425	80,25 l/m <sup>2</sup> (1,7kg/l)		1	
gipszkarton lemez	24	1,25	1000	13,125	13,125	40		1	0,24
fűrészelt puhafa, üzemben kéregtelenítve, u = 70 %	101		400	0	1,58	35	33 cm-ként 2,5/5 cserépléc, 5%-os hulladékkal	1	0,13
favédőszer, organikus só, Cr mentes	115		0	0	0,135	35	0,3 kg/m <sup>2</sup> anyag 0,15 m <sup>2</sup> felületre	1	
légrés	207	4	1	0,042		35		1	0,17
PE fólia	180		980	0	1,7	35	0,15 mm teljes felületen, 10% átlapolással, 5% hulladékkal	1	0,5
OSB	127	1,2	900	11,34	11,34	35		1	0,17
fűrészelt puhafa, üzemben kéregtelenítve, u = 70 %	101		400	0	11,76	35	40 cm-ként 7,5/14 5%-os hulladékkal	0,1875	0,13
favédőszer, organikus só, Cr mentes	115				0,32	35	0,3 kg/m <sup>2</sup> anyag 1,07 m <sup>2</sup> felületre	1	
kőzetgyapot	80	14	80	11,76	9,4	35	fa keresztmetszet miatt 80%-os csökkentéssel	0,8125	0,04
OSB	127	1,2	900	11,34	11,34	35		1	0,17
EPS, polisztirolhab lemez	82	4	35	1,47	1,47	25		1	0,04
ragasztó habarcs	20	0,3	0	0	3	25	3,1 kg/m <sup>2</sup>	1	0
üvegszövet	21		0	0	0,5	25	1,17 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> tömeg becsülve	1	0
nemesvakolat, ásványi	22	0,3	1400	4,41	4,5	25	4,5 kg/m <sup>2</sup>	1	0,85

4-2. táblázat Réteges, favázás könnyűszerkezetes falszerkezet (FaKF) ökológiai alapadatainak bemutatása (1 kg-ra vonatkoztatva, 4-1. táblázat sorrendjében)

nem megújuló energia	klímaváltozás, GWP100a	savasodás, AP átlagos európai	sztratoszferikus ózon-réteg károsodása, ODP állandósult	sztratoszferikus ózon-oxidáció (nyári szmog), POCP, magas NOx	eutrofizáció, EP általános	humán toxicitás, HTP végtelen	édesvízi ökototoxicitás, FAETP, végtelen	tengeri ökototoxicitás, MAETP, végtelen	szárazföldi ökototoxicitás, TAETP, végtelen	ökoszisztéma minősége	emberi egészség	erőforrások használata	összes
GLO	GLO	RER	GLO	RER	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	RER	RER	RER	RER
kumulatív energia-igény	CML 2001	CML 2001	CML 2001	CML 2001	CML 2001	CML 2001	CML 2001	CML 2001	CML 2001	eco-indicator 99, (H,A)	eco-indicator 99, (H,A)	eco-indicator 99, (H,A)	eco-indicator 99, (H,A)
MJ	kg CO2-Eq	g SO2-Eq	mg CFC-11-Eq	g etilén-Eq	g PO4-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	pont	pont	pont	pont
54,47824	2,181343	11,72841	0,390253	6,113933	1,480141	1,018554	0,509338	1154,836	0,011228	0,010398	0,055543	0,128527	0,194468
7,097248	0,429214	1,551837	0,050076	0,066005	0,259708	0,092762	0,029448	86,63885	0,00141	0,002616	0,016727	0,017737	0,03708
2,866469	0,16485	1,10158	0,017599	0,072273	0,226068	0,083858	0,0207	53,32339	0,00063	0,027563	0,008225	0,006577	0,042364
69,64185	2,997755	25,68527	1,858956	0,995867	4,230705	8,733597	0,709649	1718,39	0,063002	0,054409	0,128475	0,184993	0,367874
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88,34176	5,171295	17,48172	0,034958	0,582336	1,574112	1,629296	3,101621	3564,25	0,012068	0,009412	0,094763	0,240694	0,344872
19,04043	0,717545	3,942972	0,040505	0,442032	0,634568	1,333401	0,098964	231,0925	0,003609	0,014189	0,027819	0,046638	0,088645
2,866469	0,16485	1,10158	0,017599	0,072273	0,226068	0,083858	0,0207	53,32339	0,00063	0,027563	0,008225	0,006577	0,042364
69,64185	2,997755	25,68527	1,858956	0,995867	4,230705	8,733597	0,709649	1718,39	0,063002	0,054409	0,128475	0,184993	0,367874
27,9773	1,718496	12,37498	0,108131	0,630535	1,248207	0,643885	0,114842	529,2434	0,004178	0,012693	0,103577	0,054597	0,17087
19,04043	0,717545	3,942972	0,040505	0,442032	0,634568	1,333401	0,098964	231,0925	0,003609	0,014189	0,027819	0,046638	0,088645
111,7969	7,3787	26,17999	0,167425	6,859946	2,713697	1,143988	0,85333	1492,718	0,007975	0,015897	0,141461	0,32294	0,480297
2,471526	0,368778	0,883623	0,016517	0,034725	0,103408	0,032752	0,005644	28,94413	0,000855	0,000637	0,005644	0,004853	0,011134
45,42795	2,58812	16,47241	0,201186	0,613235	1,263722	9,189402	0,151043	2200,771	0,042377	0,014304	0,111353	0,097936	0,223589
2,433011	0,139321	0,790939	0,021232	0,03536	0,066846	0,03442	0,007587	37,29777	0,000431	0,000672	0,009001	0,006027	0,015701

**4–3. táblázat Réteges, favázás könnyűszerkezetes falszerkezet (FaKF) életciklusra vonatkozó összesített, relatív és beruházásra vonatkozó abszolút környezetterhelési indikátorai**

	életciklusra vonatkozó ösz- szesített/év	beruházásra vonatkozó
R (m <sup>2</sup> K/W)	4,28	
U (W/m <sup>2</sup> K)	0,23	
Hővesztesség (MJ/év)	58,35	
nem megújuló energia (GLO, kumulatív energiaigény, MJ)	140,4809	1202,9908
klímaváltozás, GWP 100a (GLO, CML2001, kg CO <sub>2</sub> -eq)	8,0202	63,2956
savasodás, AP átlagos európai (RER, CML2001, g SO <sub>2</sub> -eq)	21,4600	328,3401
sztratoszferikus ózonréteg károsodása, ODP állandósult (GLO, CML2001, mg CFC-11-Eq)	1,3830	4,1939
fotokémiai oxidáció (nyári szmog), POCP, magas Nox (RER, CML2001, g etilén-Eq)	2,2530	32,0126
eutrofizáció, EP általános (GLO, CML2001, g PO <sub>4</sub> -Eq)	2,0101	42,0789
humán toxicitás, HTP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	2,3003	47,5866
édesvízi ökototoxicitás, FAETP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	0,4296	11,0701
tengeri ökototoxicitás, MAETP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	1070,4906	21677,5609
szárazföldi ökototoxicitás, TAETP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	0,0150	0,2163
ökoszisztéma minősége (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,0334	0,9136
emberi egészség (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,1358	2,4019
erőforrások használata (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,4029	2,9288
eco-indicator-összes (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,5721	6,2442

## 5. A kutatási jelentés E) tanulmányának rövid összefoglalója

Ezen tanulmányrész az ablak és árnyékoló szerkezetek vizsgálatával foglalkozik.

A vizsgálatok első két fázisában a környezeti terhelések meghatározáshoz szükséges vizsgálati köröket határozzuk meg külön ablakok és árnyékolások témakörében. Ehhez számos feltételezést és feltételrendszert kell megelőzőleg tisztázni. Meg kell ismerni számos komplex hatásrendszert, mind szerkezet, mind pedig épület léptékben. Továbbá a két megelőző vizsgálatnak biztosítani kell az alapfeltételt az épületben tapasztalható terhelések szerkezetre történő visszavetítéséhez, hogy a szerkezetek hatása összehasonlítható legyen.

Első lépésben tehát a szerkezetek saját léptékében vizsgáljuk a **téli** viselkedés módot a fűtési energia igények pontos meghatározása érdekében.

Ez után következnek a **nyári** hőelemzések, ami a még komplexebb problémakörű árnyékolások hatását vizsgálja mind a megvilágítás korlátozása, mind pedig a hőérzet tekintetében (egészség, kényelem). Ehhez már elengedhetetlen a zóna (helység, helységcsoport) szintű vizsgálat amihez az F) tanulmányban leírt mintaház nyújt alapot.

Ez után összegezve a téli és nyári viselkedés eredményeit, kiegészítve az anyag életfázis környezeti terheléseivel készül a teljes életciklus elemzés összegzett környezet terheléseinek meghatározása.

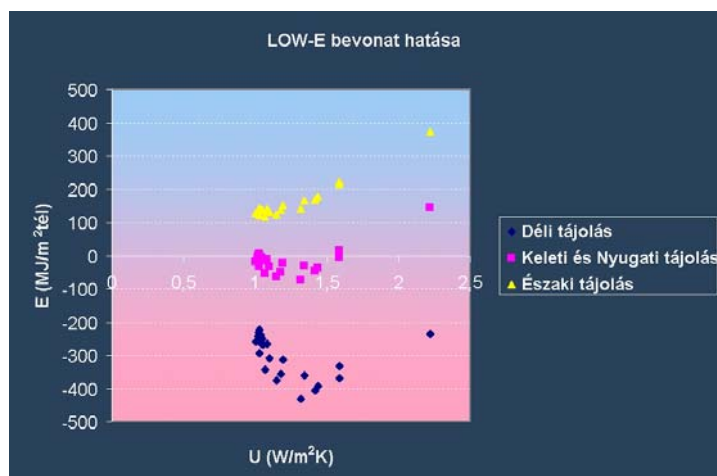
### 5.1. Ablakok téli hőmérlege

Először részletesen vizsgáljuk az időjárás az üvegezett szerkezetek hőátbocsátására gyakorolt hatását. Majd megvizsgáljuk a modern LOW-E (alacsony emissziós, alacsony hőveszteségű) kettős üvegezésű szerkezetek? rétegrendek téli hőmérlegét.

Majd ugyanígy vizsgáljuk az üvegezés rétegszám növelésének téli mérlegre gyakorolt hatását is.

Ez után részletesen elemeztük 16 különböző üvegezés rétegfelépítését. Vizsgáltunk egyrétegű, napvédő, nagy légzáró és többszörös napvédő bevonatolású üvegeket.

5—1. ábra Alacsony emissziós bevonat hatása az ablakszerkezetek hőmérlegében



Összehasonlítottuk a vizsgált rétegfelépítések légzáró paramétereit (egészség, komfort), hőtechnikai paramétereit (hőátbocsátás, sugárzás átadási képesség). Ebből kifejeztük az üvegek téli hőmérlegét.

A tanulságokat levonva a következő lépésben komplett ablak szerkezeteket állítottunk össze és vizsgáltuk a különböző arányú, többszörös ablakok hőveszteségeit, fényáteresztő képességét.

Tovább lépve vizsgáltuk az ablakok különböző beépítési módjával járó többlet hőveszteségeket, az ablakok körüli hőhídhatás mértékét.

Végül a tanulságokat összegezve ajánlást adtunk az ablakok tervezésére, a téli hőveszteség viszonyok tükrében.

## 5.2. Ablakok és árnyékolók nyári hőmérlege

Az elemzés elején tettünk egy apró kitérőt, és megvizsgáltuk az ablakok téli-nyári hőmérlegét a beépítési szög függvényében (falsík és tetősík üvegezések összehasonlítása).

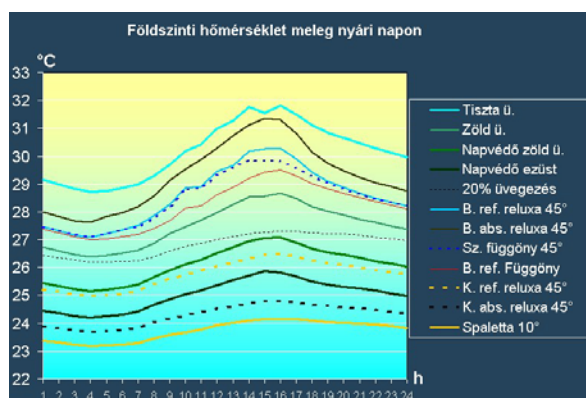
A kezdeti vizsgálatban a téli elemzéshez hasonlóan vizsgáltuk az időjáráshatást (felhőképződés, nap-sütés).

Majd a téli elemzéshez hasonlóan összehasonlítottunk több, - 25 db különböző - szerkezeti felépítést, árnyékolási technikát. Ezek között vizsgáltunk napvédő (reflexiós) bevonatokat, üvegszínezési technikákat, különböző belső és külső árnyékoló szerkezeteket, árnyékolási üzemeltetési módokat. A vizsgálatban a mintaházban végzett szimulációs eredményül szolgáló fizikai paramétereket hasonlítottunk össze. Vizsgáltuk a sugárzás átbocsátóképességet, a hőátbocsátási tényezőt, a fényáteresztő képességet (árnyékolt állapotban). A mintaházban felvett déli és nyugati ablakoknak kimutattuk a nyári hőmérlegét. Ezen felül kifejeztük a mintaházban tapasztalható hőérzeti értékeket is.

Kifejeztük a potenciálisan hűtést igénylő kellemtelen órák számát ( $25,5^{\circ}\text{C}$  feletti órák). A túlárnyékolás vizsgálata érdekében számítottuk a zónában kialakuló megvilágítás (lux) értékét. Az állandó árnyékolások téli hatásának figyelembe vételére szimulációval vizsgáltuk a mintaház fűtési energia igényének változását. Ezen felül megvizsgáltuk a mintaházban a különböző árnyékolások hatására kialakuló nyári hőmérsékleti viszonyokat.

A kifejezett eredmények alapján javaslatokat adtunk a különböző árnyékolási technikák alkalmazására.

5—2. ábra Földszinti hőmérséklet meleg napokon a mintaház szimulációja alapján



## 5.3. Ablakok és árnyékolók környezeti terhelései

A végső vizsgálatban a részletes szerkezetelemzés alapján kifejeztük a beépített anyagok mennyiségét. A két korábbi hőmérleg-elemzés alapján pedig az ablakok vizsgálatára egy fix környezeti feltételrendszert állítottunk fel a valószínűsíthető leggyakoribb szituáció alapján. (Meg kell jegyezni, hogy korábbi hőmérleg-vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy az ablakok vizsgálati környezete, beépítési feltételei nagyon nagy mértékben befolyásolják a teljes hőmérleget, és ezáltal az okozott környezeti terheléseket.)

A vizsgálatban összehasonlítottuk az okozott környezeti terhelést egyrészt életfázisonként, másrészt típusonként. Összehasonlítottunk három alapvető tok és szárny típust: kettős kamranélküli PA osztású több kamrás alumínium ablak, 5 kamrás PVC ablak, fa ablak. Az árnyékolás-elemzéshez kétféle napvédő üveget, és kétféle árnyékolót vizsgáltunk a nyári energia mérlegből kiválasztva.

A nyári elemzésben tapasztalt komoly potenciális **hűtési energia igény** azt mutatta, hogy további szimulációkkal vizsgálni kell a mintaház különböző árnyékolásai esetén a hűtési energia igényt. A komplex részletes szimulációval kapott, pontos érzékelhető hűtési energiaigény adatokat a hűtési periódus alatt tapasztalható hőterhelések arányában a hőterheléseket okozó tényezőkre arányosan visszaszámoltuk. Tehát ez által pontosan fejeztük ki az ablakok által okozott hűtési energiaigény nagyságát.

A nyári elemzés tapasztalatai arra mutattak rá, hogy vizsgálni kell a túlzott árnyékolással okozott **többlet megvilágítási energiaigény** mértékét is. Itt a szimuláció alapján azokat az órákat vettük számításba, amikor a helyiségek nappal mesterséges megvilágítási igényelnek. Ezen értékek, és a mintaház geometriája alapján kifejeztük az egy túlárnyékolt ablakra jutó többletvilágítási energiaigény nagyságát.

Az eredményeket a 5–1. táblázatban szemléltetjük. (A példa kiragadott, az idő 50%-ban túlárnyékolás van ezért a többlet-megvilágítási igény jelentős. Más példákon természetesen más értékek adódtak.)

**5–1. táblázat Nyugatra tájolt, 1500×1500 BNY 4-16-4 argon gáztöltéses PVC 5k ablak alu. külső relaxával egy évre jutó környezeti terhelései 30 éves életfázist figyelembe véve**

		PVC ablak ~ anyag	Külső alu. reluxa anyag	fűtés	hűtés	többlet világítás
	<b>Mértékegység</b>	db/a	db/a	db/a	db/a	db/a
<b>PEI n.r.</b>	MJ	107,44	61,69	384,56	15,51	189,59
<b>GWP 100a</b>	kg CO2-Eq	6,42	4,01	22,01	0,72	8,81
<b>AP EU</b>	g SO2-Eq	40,15	17,96	38,73	9,23	112,86
<b>ODP</b>	mg CFC-11-Eq	0,35	0,27	4,46	0,06	0,69
<b>POCP</b>	g etilén-Eq	2,16	1,30	2,93	0,37	4,48
<b>EP</b>	g PO4-Eq	3,98	1,56	2,49	0,23	2,82
<b>HTP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	4,09	18,39	2,57	0,27	3,28
<b>FAETP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	1,94	1,43	0,27	0,09	1,14
<b>MAETP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	4385,66	8175,57	1077,12	574,47	7022,41
<b>TEATP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	0,07	0,02	0,02	0,01	0,14
<b>ecoind.-99 ökoszisz- téma</b>	pont	0,06	0,01	0,02	0,00	0,04
<b>ecoind.-99 egészség</b>	pont	0,23	0,12	0,22	0,02	0,30
<b>ecoind.-99 erőforrás</b>	pont	0,26	0,14	1,18	0,02	0,19
<b>ecoind.-99 össz. k.m.</b>	pont	0,56	0,27	1,42	0,04	0,52

A különböző ablak és árnyékoló szerkezetek a mintaház feltételrendszerében okozott környezeti terhelését 5–2. táblázatban összegeztük.

**5–2. táblázat Nyugatra tájolt, 1500×1500-as ablakszerkezetek teljes életciklusát összehasonlító értékelés (fűtés, hűtés, nappali világítás, anyag életfázisok)**

		Alu. ablak ~ szí- nezetlen reflexiós üveggel	PVC ablak ~ árnyékolatlan	Faablak ~ zsalugáterrel
<b>Indikátor</b>	<b>Mértékegység</b>	db/a	db/a	db/a
<b>PEI n.r.</b>	MJ	1855,57	950,23	507,99
<b>GWP 100a</b>	kg CO2-Eq	43,13	15,55	49,05
<b>AP EU</b>	g SO2-Eq	104,51	49,70	28,10
<b>ODP</b>	mg CFC-11-Eq	388,21	351,65	105,35
<b>POCP</b>	g etilén-Eq	17,82	6,48	5,07
<b>EP</b>	g PO4-Eq	22,04	15,92	6,10
<b>HTP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	23,03	13,27	6,30
<b>FAETP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	49,15	14,60	5,65
<b>MAETP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	6,41	4,95	1,30
<b>TEATP inf.</b>	kg 1,4-DCB-Eq	37515,68	22435,84	6111,14
<b>ecoind.-99 ökoszisztéma</b>	pont	0,38	0,43	0,10
<b>ecoind.-99 egészség</b>	pont	0,84	0,38	0,23
<b>ecoind.-99 erőforrás</b>	pont	1,03	0,52	11,15
<b>ecoind.-99 össz. k.m.</b>	pont	0,23	0,18	0,18

Az alumínium ablak igen gyakori reprezentatívabb épületek esetén, igen komoly gyártási (elektromos üzemű alumínium kohók miatt) és fűtési energiaigényével (nem engedi télen a napenergiát hasznosulni, míg szerkezete hőátbocsátás szempontjából a legrosszabb) válik domináns környezet terhelővé. A PVC esetében az árnyékolás hiánya miatt a hűtés válik jelentőssé. A fa esetében mindent az optimálisra választottunk. Ezen tehát lemérhető a minimális környezet terhelés.



Az elemzés végén a tervezéshez alkalmazható röviden megindokolt javaslatok szerepelnek, mint például:

- Kerülendő a túlzott üvegosztás a többlet környezeti terhelések miatt.
- A napvédő üvegek helyett mozgatható árnyékolót kell alkalmazni, mert így elkerülhető a nyári túlárnyékolás és a téli szolár hőnyereség csökkenése.

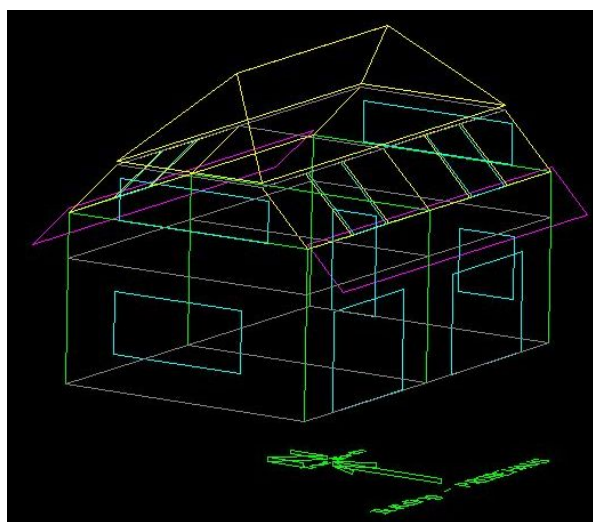
## 6. A kutatási jelentés F) tanulmányának rövid összefoglalása

A vizsgálatok a hőtároló tömeg hőérzetre (egészség, komfort, potenciális nyári hűtési energia igény) és a szoláris megtakarításokra gyakorolt hatását, valamint a szerkezetek összehasonlító minőségét célozták. A vizsgálatok alapfeltétele egy mintaház definiálása volt. A vizsgálatokat a mintaházon két épületszinten, a földszinten és a tetőtérben végeztük el.

### 6.1. Mintaház leírása

A mintaház fontosabb paramétereit a 6—1. ábra és a 6—1. táblázat mutatja be. A leírásban részletesen szerepelnek a feltételezett paraméterek, és a szimulációk szerepének, jelentőségének bemutatása az energetikai számításokban.

6—1. ábra Az Energy Plus programba bevitt modell rácsváza.



6—1. táblázat A mintaház geometria

Mintaház geometria		
Állandó paraméterek		Felület
Földszint Nyugat és Kelet együtt	Külső fal	82,40
	Déli ablak	14,40
	Ny. v. K. ablak	9,00
	Padló	57,60
	Mennyezet	53,82
	Belső teherhordófal	15,60
Tetőter Nyugat és Kelet együtt	Déli tető	9,09
	Északi tető	11,00
	Mennyezet	42,00
	Oromfal	20,10
	Déli tetőablak	6,38
	Oromablak K. és Ny	8,20
	Északi tetőablak	4,48
	Térdfalak	23,10
	Eresz	26,52
	Tető túllógás	24,32
	Belső teherhordófal	12,36

### 6.2. Földszinti vizsgálatok

Első lépésként megvizsgáltuk a dinamikus hőáramok hatását a falszerkezetek veszteségeire. Kifejeztük a falszerkezetek által elnyelt abszorbeált napenergia mennyiségét és a más jelenségek által okozott hőátbocsátást csökkentő hatásokat.

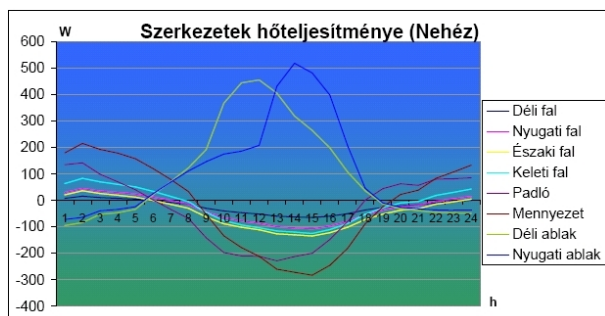
Ezután megvizsgáltuk különböző hőtároló tömegek és üzemeltetési módok hatását a hőméreldre. Az üzemeltetési módok hatásának vizsgálatára azért volt szükség, mert nagymértékben befolyásolják a hőtároló tömegek hatását is. Ezen felül azt is ismerni kell, hogy a hőtároló tömeg más hatásokhoz képest mennyire jelentős.

Tehát ebben a vizsgálatban télen/nyáron külön részletesen ismertetjük a földszinten a külső fal, ablakok, a szellőzés, a teljes ház érzékelhető energia mérlegét és a különböző hőérzeti paramétereket (PMV). Vizsgáljuk a három tömeg kategóriát (nehéz, félnehéz, könnyű), négy árnyékolás módot és három szellőztetési technikát. Végül készült még egy kontroll vizsgálat klasszikus ablak méretekkel.

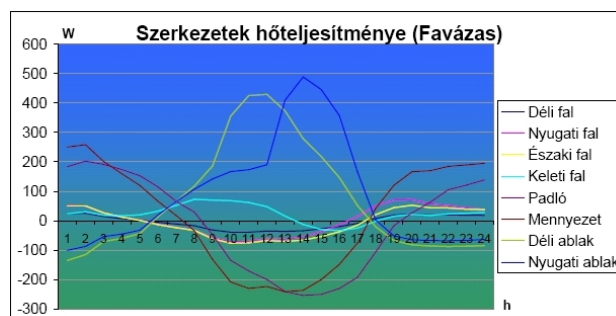
Az elemzések ezen értékek részletes kiértékelést tartalmaznak. Ezen felül kiegészülnek részletes, egy a teljes év szimulációjából kiragadott mintanapon kialakuló energiaáramok ingadozásának bemutatásával.

Ebből a szempontból legkritikusabb a nehézfalas (30cm 1500kg/m<sup>3</sup> falazat és 15cm hőszigetelés) és a favázás (könnyűszerkezetes 15cm hőszigeteléses) fal teljesítményének összehasonlítása.

**6—2. ábra Nehéz szerkezetű épület földszinti szerkezeinek napi energiaáramai kritikus napon**



**6—3. ábra Favázás szerkezetű épület földszinti szerkezeinek napi energiaáramai kritikus napon**



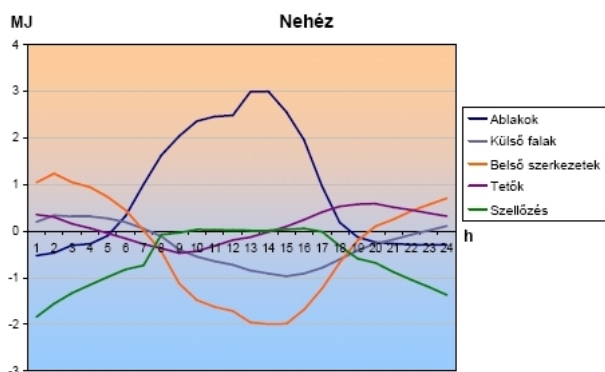
A kritikus napon vizsgáltuk a belső és külső felületi hőmérsékletek ingadozását a szerkezeteken és összegeztük szerkezet-csoportonként az energia mennyiségének ingadozását is. A felsorolt vizsgálatok grafikonjainak vizsgálataival részletes képet kaphatunk a hőtárolás működési hatásmechanizmusáról (6—2. ábra és 6—3. ábra).

A végső összehasonlításban a földszinten tapasztalható hőmérsékletet vizsgáltuk a legmelegebb nyári napon, a különböző üzemeltetési módok és hőtároló tömegek esetében (6—6. ábra).

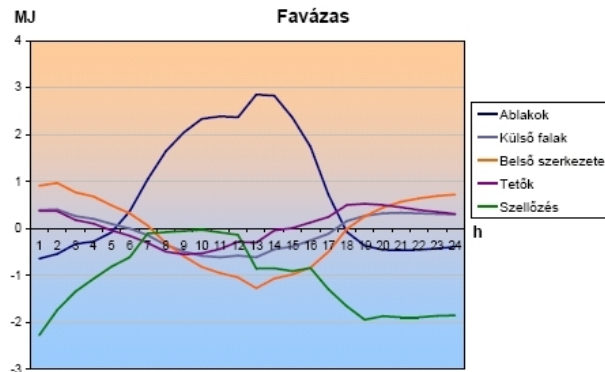
### 6.3. Tetőtér vizsgálata

A téli földszinti vizsgálat analógiájára itt is télen/nyáron összehasonlításra kerül a főbb energia mérleg tényezők szimulációs eredménye.

**6—4. ábra Nehéz szerkezetű épület tetőtéri szerkezeinek napi energiaáramai kritikus napon**



**6—5. ábra Favázás szerkezetű épület tetőtéri szerkezeinek napi energiaáramai kritikus napon**



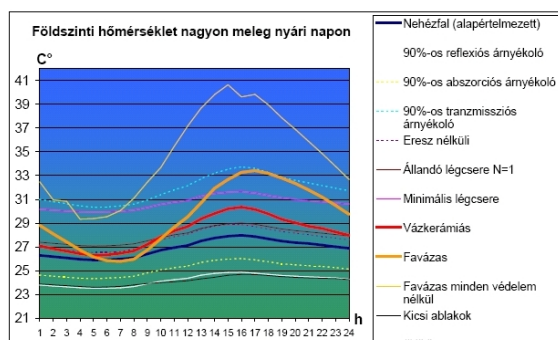
A szimulációk legfontosabb eredménye, hogy még a hőszigetelt tetők is, az ablakokhoz hasonlóan, a nappali időszakban hőt juttatnak a helységekbe. Nem így a falak, amelyek mindig segítenek a kritikus nappali órákban a hőelvezetésben (eltárolásában). A szellőzés jól mutatja hogy a könnyűszerkezetben a levegő a nappali órában már „éjszakai üzemmódba kapcsol”. Ez a megnövelt légcseré üzem módja, és az alapfeltétele az, hogy külső levegő 2C°-al alacsonyabb legyen a belsőnél. Tehát ahol a favázás szerkezetnél 13.00 h-kor „leesik” a szellőzés vonala a belső levegő hőmérséklete már 2C°-kal magasabb a külső levegőénél. Ez persze a nehéz kialakításnál nem történik meg.

Az elemzés tömegválasztási javaslattal zárul.

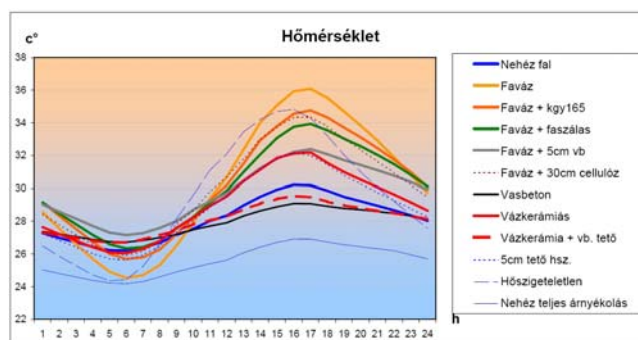
## 6.4. Hőérzet összegző értékelése

A szimulációkkal egyértelművé tehető a különböző passzív hűtési módszerek hatékonysága. Kirajzolódik a három hőtárolási kategória közti különbség. Az is jól érzékelhetővé válik, hogy a tetőtérben azonos szerkezetek mellett a hőmérséklet  $3\text{C}^\circ$ -kal melegebbre adódik (6—6. ábra és 6—7. ábra).

**6—6. ábra A földszinti hőmérséklet nagyon meleg nyári napon különböző épületszerkezetek esetén**



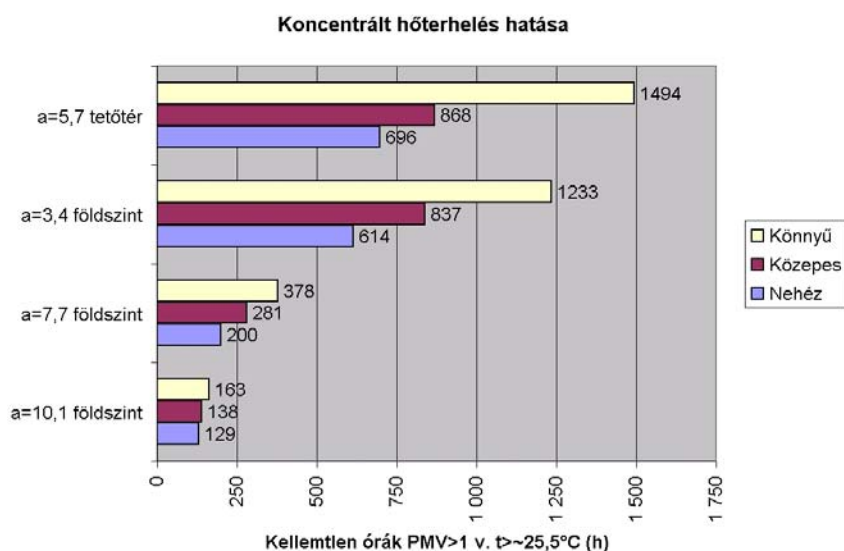
**6—7. ábra A tetőtéri hőmérséklet nagyon meleg nyári napon különböző épületszerkezetek esetén**



Ezzel teljesen egyértelművé tehető a különböző passzív hűtési módszerek hatékonysága. Kirajzolódik a három hőtárolási kategória közti különbség. Az is jól érzékelhetővé válik, hogy a tetőtérben azonos szerkezetek mellett a hőmérséklet  $3\text{C}^\circ$  melegebbre adódik.

Végül a nyári állapotokat a meleg nyári nap vizsgálata mellett jól ki lehet egészíteni a kellemetlen órák számának összehasonlításával (a táblázatokban  $t > 25,5\text{C}^\circ$  jelöléssel). Tehát ez a kifejezés azt határozza meg, hogy hány olyan óra van, amikor a belső levegő hőmérséklete átlépi a felső komfort határát (6—8. ábra).

**6—8. ábra Koncentrált hőterhelés hatására (pl. ablakok nyáron) várható kellemetlen órák száma, különböző alapterület/ablakfelület arány mellett, három eltérő épületszerkezeti rendszer esetén**



Az alapterület/ablakfelület arányt jelölő  $a=10,1$  és  $a=7,7$  arányszámok a MATESZ részére, téglá anyagú szerkezetekre készített életciklus kutatásból származó eredmények. Itt egy kis üvegezettségű, beépítetlen padlásteres földszintes házat vizsgáltunk szimulációval. A grafikonon az  $a=5,7$  tetőtér az itt részletesen vizsgált mintaház tetőterére, az  $a=3,4$  az itt vizsgált épület földszintjére vonatkozik. A bevilágító felület arányával jól mérhetjük a koncentrált hőterhelés mértékét, ami kihat a kellemetlen

órákra, ahogy ezt a mellékelt ábra is mutatja. Természetesen ezt ki kell egészíteni azzal, hogy a tető is a nyári állapotok tekintetében gyengébb hőterhelésű szerkezetként (ablakként) viselkedik.

Az itt szereplő több hosszú kutatásból összegezett eredmények azt hivatottak szemléltetni, hogy a koncentrált hőterhelés (más szóval nappal rövid idő alatt érkező hőmennyiség) mértékétől a hőtároló tömeg hatása, szükségessége nagyban függ.

Az elemzésben

- könnyű szerkezetnek minősül pl.: a fa és acélvázás építésmód
- közepesnek minősül pl.: a pórusbeton és vázkerámias fal, födém
- nehéznek minősül a pl.: tömörtégla és tömör beton szerkezetek (ha belső oldalukon nincs hő-szigetelés).

Az elemzés végén az elemzés tanulságai alapján ajánlásokat fogalmaztunk meg, mind az épületek üzemeltetés módjára, mind pedig a tervezésére, a hőkomfort, a lakhatóság megőrzése, a környezetileg káros hűtési energiafogyasztás elkerülése érdekében.

## 6.5. Hűtési energia igénnyel megnövelt falszerkezeti életciklus elemzés

A vizsgált épületszerkezetek három fő tömegkategóriájában (nehéz, félnehéz, könnyű) a nyári állapot elemzéseket a hőérzetén felül hűtési energia igény szimulációkkal is kiegészítettük. A vizsgálatokat a mintaházon árnyékolt és árnyékolatlan ablakoknál is elvégeztük. Azt a többlet hűtési energia igényt, ami nehéz szerkezethez képest fellépett, a könnyű és a félnehéz szerkezet rovására számoltuk el. A fellépő többlet hűtési energia igényt a mintaház geometriája alapján a hőtároló szerkezetekre felületarányosan leosztottuk. E szerint a részletes elemzésből kiragadott, nyáron legkritikusabb, szerelt szerkezetnél az összehasonlítás a 6–2. táblázat szerint alakul.

**6–2. táblázat Favázás fal életciklus környezeti terhelései**

		anyag	fűtés	többlethűtés
Indikátor	Mértékegység	m2a	m2a	m2a
PEI n.r.	MJ	31,24	114,38	24,31
GWP 100a	kg CO2-Eq	1,56	6,55	1,13
AP EU	g SO2-Eq	9,28	11,52	14,47
ODP	mg CFC-11-Eq	0,14	1,33	0,09
POCP	g etilén-Eq	0,91	0,87	0,57
EP	g PO4-Eq	1,21	0,74	0,36
HTP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	1,52	0,76	0,42
FAETP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	0,21	0,08	0,15
MAETP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	559,36	320,36	900,51
TEATP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	0,01	0,01	0,02
ecoind.-99 ökoszisztéma	pont	0,03	0,01	0,00
ecoind.-99 egészség	pont	0,07	0,06	0,04
ecoind.-99 erőforrás	pont	0,07	0,35	0,02
ecoind.-99 össz. k.m.	pont	0,18	0,42	0,07

6–3. táblázat fal teljes életciklus (anyag, fűtés, hűtés) környezeti terhelései (mintaház földszintjére vonatkozóan)

		nehéz szerkezet: <b>Nehézfal</b> (alapértelmezett)	félnehéz szerkezet: <b>Vázkerámiás</b>	könnyűszerkezet: <b>Favázás</b>
Indikátor	Mértékegység	m2a	m2a	m2a
PEI n.r.	MJ	145,52	198,81	169,93
GWP 100a	kg CO2-Eq	9,04	11,82	9,23
AP EU	g SO2-Eq	27,03	28,82	35,27
ODP	mg CFC-11-Eq	1,41	2,13	1,55
POCP	g etilén-Eq	1,66	2,33	2,36
EP	g PO4-Eq	2,47	2,00	2,31
HTP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	1,69	1,71	2,70
FAETP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	0,21	0,26	0,43
MAETP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	3343,26	2820,24	1780,23
TEATP inf.	kg 1,4-DCB-Eq	0,01	0,02	0,03
ecoind.- 99 ökoszisztéma	pont	0,02	0,02	0,04
ecoind.- 99 egészség	pont	0,19	0,15	0,17
ecoind.- 99 erőforrás	pont	0,41	0,58	0,45
ecoind.- 99 össz. k.m.	pont	0,62	0,75	0,66

A végső elemzésben a három típusnál az összehasonlítás érzékletes képet mutat. A teljes életciklust tekintve a különbségek összemosódnak. A favázás szerkezetnél a könnyűszerkezet kis tömege miatt kicsi ugyan a gyártás környezeti terhelése, de ezt ellensúlyozza a hűtés problémája. A nehézfalnál a fő problémát a nagy tömeg ipari kivitelezése okozza. Ha az ipari technológia helyett természetesen, az égetett téglá helyett vályogot választunk, az összeg is biztos jóval kedvezőbb lehet.